

運輸省港湾技術研究所 ○土田 孝 小林正樹
日建設中瀬土質研究所 小川富美子

1. はじめに

三笠は粘土の $e - \log p$ 曲線において、同一の有効応力に対して、大きい間隙比を保持する場合ほど構造は高位であり、間隙比が小さいほど低位であるとした¹⁾。さらに、十分に練り返して構造を低位化させるならば、最終的に1つの $e - \log p$ 曲線に収束すると述べている。本文は、液性限界試験における流動曲線を用いて、練り返しによって構造が低位になっているときの $e - \log p$ 曲線の形状について考察したものである。

2. 液性限界試験の流動曲線の $e - \log p$ 関係への変換

液性限界試験は練り返した粘性土が一定の強度のときの含水比を求める試験であり、この時の強度はほぼ $10 \sim 30 \text{ gf/cm}^2$ であるとされている²⁾。小川らは、同一の含水比の試料でも練り返しの時間が長いほど強度が低下すること、したがって液性限界の値も低下することを報告した³⁾。三笠もファールコーン法によって練り返し時間が長いほど w_L の値が小さくなることを確認している⁴⁾。このことは粘土において練り返し（攪乱）による強度の低下が容易には（簡単な練り返しでは）下限値に収斂しないこと示していると思われる。

表1は川崎粘土の液性限界試験における落下回数とベーンせん断強度の関係である³⁾。液性限界に対応するベーン強度は 15 gf/cm^2 であり、落下回数100については外挿して求めた。

落下回数(回)	10	15	20	25	30	40	50	100
せん断強度(gf/cm ²)	9.0	11.3	13.3	15.1	16.7	19.7	22.3	33.0

表1 液性限界試験における落下回数とベーンせん断強度

落下回数が10分の1になったときの強度増加は3.7倍であり、流動指数 I_L は「練り返した状態で強度が3.7倍になるときの含水比の低下量」と解釈できる。

次に、十分に練り返された粘土の有効応力状態について考えてみる。図1のA点に示す有効応力 p' を保持する練り返し土が、せん断によって最終的には限界状態線上の一点に到達するとすれば⁵⁾、その間には種々の応力径路が考えられる。1つの仮定として「十分に練り返された粘土ではせん断による過剰間隙水圧が発生しない」とすると、図1のB点とC点がそれぞれ三軸圧縮強度、三軸伸張強度を表わしている。これらの強度を p' で正規化した強度 $(s_u/p')_{comp}$ 、 $(s_u/p')_{ext}$ は、限界状態時の応力比 M_c 、 M_E を用いて以下のように計算できる。

$$(s_u/p')_{comp} = 3M_c / (6 - 2M_c)$$

$$(s_u/p')_{ext} = 3M_E / (6 + 2M_E)$$

わが国の海成粘土において平均的な値である $\phi'_c = 35^\circ$ 、 $\phi'_E = 40^\circ$ より $M_c = 1.42$ 、 $M_E = 1.06$ を用いるならば、 $(s_u/p')_{comp} = 1.35$ 、 $(s_u/p')_{ext} = 0.39$ となり、両者の平均をもって練り返し粘土の正規化した強度 (s_u/p') とすると、

$$(s_u/p') = 0.87 \quad (1)$$

と計算される。0.87は練り返し状態での強度と有効応力の比を表すが、三笠が実験によって測定した液性限界の含水比における有効応力も $10 \sim 20 \text{ gf/cm}^2$ の範囲にあると報告されておりほぼ強度と一致している¹⁾。

(1)式の関係を用いると、強度と含水比の関係である流動曲線を有効応力と含水比（間隙比）の関係に変換することができ

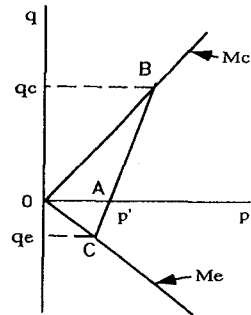


図1 練り返された粘土の有効応力径路

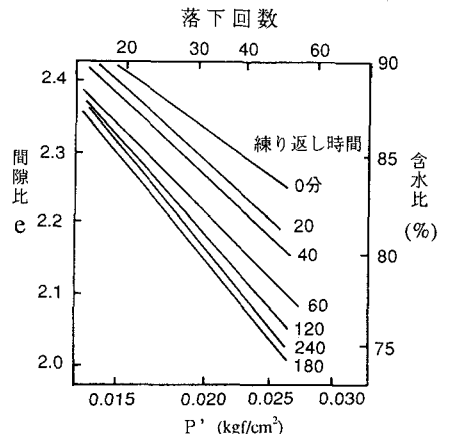


図2 流動曲線の $e - \log p$ 関係への変換

図2は、繰り返し時間を変化させて求めた大阪湾粘土の流動曲線を、表1と(1)式の関係を用いて有効応力と間隙比の関係に変換し示したものである。図より繰り返し時間の増加によって $e - \log p$ 関係が下方にシフトし、構造が低位化していることがわかる。流動指数 I_f を圧縮指数 C_c に変換する式は次式で与えられる（ただし、 $G_s = 2.70$ とする）。

$$C_c = \frac{I_f \cdot G_s}{100 \cdot \log \{3.7 / (s_u / p')\}} = 0.043 I_f \quad (2)$$

3. 繰り返された粘土の $e - \log p$ 関係と流動曲線

図3は、小川ら³²⁾による液性限界 w_L と流動指数 I_f の関係図に(2)式による変換を行って、繰り返した粘土の有効応力 $10 \sim 30 \text{ gf/cm}^2$ 付近の圧縮指数として示したものである。比較のため、図4には港湾地域の沖積粘土における C_c と w_L の関係図も示した。図4の C_c は標準圧密試験で求めた $e - \log p$ 曲線の最急勾配から求めた値であるが、図3と図4はよく似た傾向を示し、特に繰り返し時間が長い場合の図3における C_c の値は小川・松本式の値と同程度の大きさになっている。繰り返し時間を大きくするほど w_L が低下して I_f は増加するので、図3に示した通常の繰り返し時間で求められたデータをより長時間繰り返すならば C_c / w_L が増加する方向に点がシフトすることが予想される。以上の結果をみると、繰り返しを十分に行ったもっとも構造が低位の状態での $e - \log p$ 関係の勾配は、構造が高位の場合とほぼ同様の大きさである。

図5に種々の構造のレベルを有する $e - \log p$ 曲線において、繰り返しとリバウンドの効果を模式的に表した。繰り返しは間隙比を変化させないで直接的に構造を低位化させる手段であり、リバウンドは吸水膨張によって構造をあまり低位化させずに有効応力を減少している。長時間繰り返したときに得られる $e - \log p$ 関係が構造が最低位の限界の $e - \log p$ 線に近いと考えると、一般の液性限界試験の試料は繰り返しが十分でなく最低位の線より上位の構造を持つA点にあるので、含水比を増加させる操作で流動曲線を求めることはA点から限界 $e - \log p$ 線に漸近するリバウンドを行ったときの $e - \log p$ 関係を求めているのではないかと考えられる。

参考文献

- 1) 三笠(1988)：繰り返し圧密による液性限界試験（第1報），第23回土質工学会，宮崎，pp. 267-268.
- 2) 土の物理的性質に関する新しい試験方法研究委員会(1992)：新しい土の物理試験方法に関するシンポジウム発表論文集，委員会報告Ⅲ フォールコン法，pp. 73-74.
- 3) 小川・小林(1992)：土の繰り返しが液性・塑性限界試験結果に及ぼす影響，港湾技研資料，No. 733.
- 4) 三笠(1989)：繰り返し圧密による液性限界試験（第2報），第23回土質工学会，長野，pp. 267-268.
- 5) 木村(1983)：土木工学体系第8巻土質力学，7章せん断，pp. 125-132，彰国社.

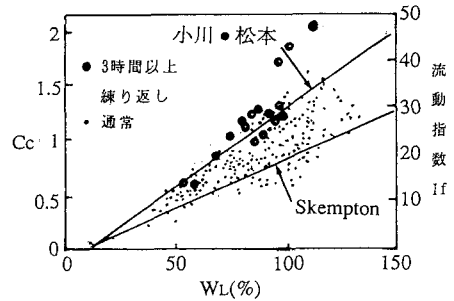


図3 I_f から求めた圧縮指数と w_L の関係

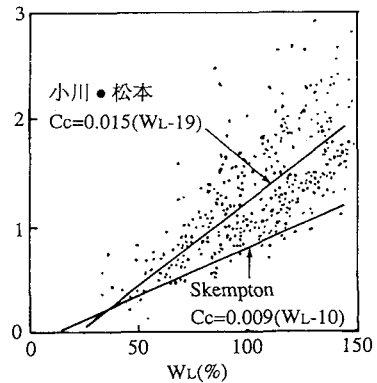


図4 圧密試験の C_c と w_L の関係

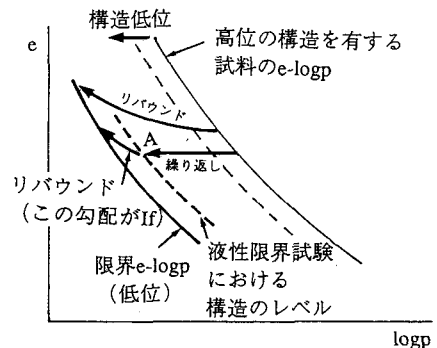


図5 繰り返しとリバウンドの模式図